Mironova Violetta Valerievna
Moscow Automative- Road Univercity.
E-mail: violettmir@gmail.com.
64, Leningradsky ave., Moscow, 125319, Russia.
Phone: +79057566997.
The Department of Structural Mechanics; Senior Lecturer.

УДК 519.7

А.А. Айбазова

СИТУАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Приведено системное определение системы автоматической оптимизации, нечеткой ситуацией функционирования, описано назначение параметров нечеткой ситуации. Определена нечеткая ситуационная модель принятия решений. Выбор управляющих решений производится в соответствии с результатами теоретических и экспериментальных исследований алгоритмов поиска.

Автоматическая оптимизация; нечеткие параметры.

A.A. Ayibazova

SITUATIONAL MODEL OF SEARCH OF THE EXTREMUM OF CRITERION OF QUALITY OF SYSTEM OF AUTOMATIC OPTIMIZATION

System definition of system of automatic optimisation, is resulted by an indistinct situation of functioning, appointment of parametres of an indistinct situation is described. The indistinct situational model of decision-making is defined. The choice of operating decisions is made according to results theoretical and experimental researches of algorithms of search.

Automatic optimization; indistinct parametres.

Определим объект оптимизации в виде набора:

$$\langle A, S_A, R, S_R, X, \Lambda, \vartheta, Z, Y, P, F, Q, t\rangle, \qquad (1)$$

где $A=\{a_i\}$ – множество элементов объекта управления (ОУ); S_A – множество свойств элементов; $R=\{r_j\}$ – множество связей между элементами ОУ; S_R – множество свойств связей между элементами; X – множество допустимых управлений; Λ – множество входных воздействий; ϑ – множество возмущающих сигналов; Z – допустимое множество состояний ОУ; Y – множество выходных переменных ОУ; P и F – операторы функции переходов и функции выходов, определяющие процесс функционирования ОУ; Q – показатель (критерий) качества; t – время.

Модели САО могут быть представлены в виде функции переходов

$$p=\langle X\times\Lambda\times Z, Z, P\rangle, \text{ так что } X\times\Lambda\times Z \xrightarrow{p} Z, \qquad (2)$$

где P – график соответствия p, и функции выходов

$$f=\langle X\times\Lambda\times Z, Y, F\rangle, \text{ так что } X\times\Lambda\times Z \xrightarrow{f} Y, \qquad (3)$$

где F – график соответствия f.

Алгоритмы функционирования систем автоматической оптимизации (САО) базируются на моделях ОУ и определяют качество функционирования САО в целом. Для решения задач эффективного управления в условиях неполноты данных целесообразно применять методы теории нечетких множеств и теории возможностей [1].

Рассмотрим обобщенный метод моделирования САО в условиях неопределенности относительно параметров модели ОУ, стратегий функционирования и нечетком определении критериев качества САО.

Под нечеткой ситуацией функционирования САО определим некоторый набор параметров состояний из допустимого множества состояний Z – (1), причем, оценка (измерение) параметров состояний осуществляется на основе анализа доступной информации, которая может быть неточной и неполной.

Пусть множество состояний $Z=\{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6\}$, в которое входят следующие параметры:

- z_1 – положение рабочей точки относительно экстремума;
- z_2 – крутизна характеристики;
- z_3 – расстояние до оптимального значения;
- z_4 – направление дрейфа характеристики;
- z_5 – интенсивность дрейфа характеристики;
- z_6 – преимущественный характер дрейфа (горизонтальный или вертикальный).

Учет данных параметров обеспечивает повышение устойчивости и эффективности работы алгоритма САО, а также позволяет согласовывать желаемые значения этих параметров с текущей ситуацией функционирования САО.

Координата z_1 предназначена для оценки расстояния до экстремума, необходима для определения режима оптимизации (поиск или регулирование) и для определения возможных потерь из-за принятия неверных управляющих решений. Координату z_1 можно оценить по абсолютной величине или по изменению величины градиента характеристики, если характеристика представляет собой гладкую поверхность. Координату z_1 можно оценить путем анализа реализаций случайных блужданий управляемого параметра, что позволяет также определить преимущественное направление движения. Однако в этом случае следует учитывать возможные ошибки принятия решения, что сказывается на точности функционирования САО. Поэтому при проектировании САО выделяют в пространстве оптимизируемых параметров область больших отклонений, для которой риск принятия неверного решения будет значительным при требовании максимальной скорости поиска, и область малых отклонений от экстремума [2-4].

Координата z_2 предназначена для оценки крутизны характеристики и может быть приближенно определена в окрестности экстремального значения. Применение координаты z_2 требует предварительного выбора вида зависимости, аппроксимирующей характеристику ОУ, т.е. координата z_2 является эвристической характеристикой.

Координата z_3 – расстояние до оптимального значения предназначена для определения положения рабочей точки относительно экстремума. Необходимо при определении положения рабочей точки учитывать оценки дрейфа характеристики, поэтому применение алгоритмов поиска с компенсацией дрейфа характеристики повышает устойчивость системы и позволяет достоверно определить положение рабочей точки, однако время принятия решения увеличивается.

Координата z_4 – направление дрейфа характеристики определяется по знаку изменения показателя качества при установленном горизонтальном или вертикальном характере дрейфа (координата z_6 – преимущественный характер дрейфа), что может быть определено на основании дополнительной информации, например использовании параметров ОУ, влияющих на показатель качества.

Координата z_5 – интенсивность дрейфа характеристики определяется на основе анализа последовательности измерений показателя качества. Применение методов фильтрации и оценивания позволяет определить скорость дрейфа экстремального значения без определения его характера.

Если с достаточной степенью достоверности найдено положение рабочей точки относительно экстремума, определен преимущественный характер дрейфа характеристики, то можно определить возможное направление дрейфа и принять решение о выборе значений параметров алгоритма. Таким образом, решение задачи определения ситуации поиска является основным этапом при разработке САО с переменными параметрами [5].

Для определения ситуации функционирования САО целесообразно использовать модель нечеткой классификации [6]. Ситуация функционирования S характеризуется следующими лингвистическими переменными (ЛП):

$$S=<s_1, s_2, s_3, s_4>, \tag{4}$$

которые имеют следующие терм-множества:

- s_1 – «расстояние до экстремума»: s_1^1 – «большое на левой ветви», s_1^2 – «малое на левой ветви», s_1^3 – «в окрестности», s_1^4 – «малое на правой ветви», s_1^5 – «большое на правой ветви».
- s_2 – «интенсивность дрейфа»: s_2^1 – «значительный», s_2^2 – «незначительный».
- s_3 – «скорость горизонтального дрейфа»: s_3^1 – «уменьшение», s_3^2 – «увеличение», s_3^3 – «отсутствует».
- s_4 – «точность определения положения экстремума»: s_4^1 – «высокая», s_4^2 – «низкая».

При отсутствии модели ОУ информация о ситуации функционирования САО может быть доступна как совокупность свойств и оценок: $\gamma=<\gamma_1,\gamma_2,\ldots,\gamma_p>\in\Gamma=\Gamma_1\times\Gamma_2\times\ldots\times\Gamma_p$, Γ_i – область определения параметра i.

Например, могут быть определены следующие апостериорные оценки:

1. Оценка градиента характеристики, $\delta=\Delta y/\Delta x$. Результат оценивания градиента может быть представлен нечетким интервалом $\tilde{\delta}$ (ОПИСАТЬ ЕГО ЧЕРЕЗ 4 ПАРАМЕТРА + РИС), учитывающим статистическую неопределенность значения.
2. Предыстория управляющих решений, u^k. Преимущественное движение вдали от экстремума и неопределенное направление движения в окрестности. Зависит от помехоустойчивости.
3. Разброс значений x на предыстории k шагов, ΔX^k.
4. Смещение характеристики за интервал времени измерения, Δy_τ. Оценивается процедурой фильтрации низкочастотной составляющей $y(t)$ и может быть вызвано как горизонтальным, так и вертикальным смещением положения экстремума.
5. Оценка дисперсии сигнала, σ, определяемая как дисперсия высокочастотной составляющей $y(t)$.

Имеющаяся информация интегрируется в модель иерархической нечеткой классификации, выходными параметрами которой являются рекомендуемые значения параметров алгоритма САО для данной ситуации функционирования.

Рассмотрим задание нечетких интервальных оценок параметров. Введем в рассмотрение модель характеристики. Пусть $b=<b_1, b_2, \ldots, b_r>$, $b\in B$ – вектор параметров модели экстремальной характеристики ОУ, $\theta=<\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_q>$, $\theta\in\Theta$ – вектор параметров алгоритма САО. Параметры характеристики b могут быть идентифицированы в процессе работы системы и могут представлять собой:

а) параметры нечеткой регрессионной модели [7];

б) нечеткие параметры аппроксимирующей характеристики;

в) параметры и характеристики вероятностных распределений.

Представление вектора B нечеткими интервалами позволяет учесть неопределенность, неполноту информации о коэффициентах модели и определить область возможных значений коэффициентов.

Между параметрами характеристики b и параметрами алгоритма θ, определяющими эффективность его функционирования с учетом ситуации **s**, существует связь, причем параметры θ_i имеют разную степень зависимости от параметров b и текущей ситуации **s**.

Текущая ситуация поиска S определяется через параметры Γ с учетом параметров характеристики B. Параметры вектора B могут быть заданы нечеткими интервалами [6].

Нечеткий интервал – это выпуклая нечеткая величина [8], функция принадлежности которой задана в следующем виде:

$$\forall u,v,\ \forall w\in[u,v]\ \mu_Q(w)\geq\min(\mu_Q(u),\mu_Q(v)), \qquad (5)$$

где Q – нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел R, μ_Q – отображение из R в [0,1]. Нечеткий интервал M может быть задан четверкой параметров $M=(\underline{m},\overline{m},\alpha,\beta)$, где $\underline{m}$ и $\overline{m}$ – нижнее и верхнее модальные значения интервала, для которых $\forall w\in[\underline{m},\overline{m}]$ $\mu_Q(w)=1$; α и β – левый и правый коэффициенты нечеткости (рис. 1).

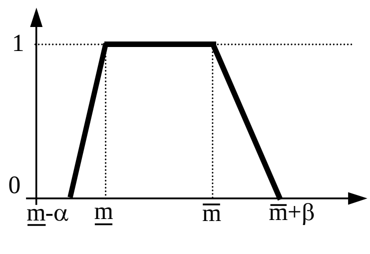

Рис. 1. Задание нечеткого интервала

Существует два способа задания функций принадлежности нечеткого интервала: по результатам экспертного опроса и по результатам анализа статистических данных значений соответствующей величины [6].

Для нечетких интервалов определены основные операции: нечеткого суммирования, нечеткой разности, нечеткого умножения, нечеткого деления и нечеткого сравнения интервалов, функционального преобразования нечетких интервалов с использованием принципа обобщения [8].

Рассмотрим построение нечеткой ситуационная модели принятия решений.

Нечеткой ситуацией [9] называется нечеткое множество второго уровня, задаваемое в следующем виде:

$$\tilde{S} = \{ < \mu_s(s_k)/s_k > \},\ k = \overline{1,4},$$
$$\mu_s(s_k) = \{ < \mu_{\mu_s(s_k)}(s_k^j)/s_k^j > \},\ k = \overline{1,4},\ j = \overline{1,m_k}. \quad (6)$$

Лингвистическая переменная (ЛП) характеризуется набором

$$<s_k, T(s_k), U, G, M>,\ k = \overline{1,4}, \quad (7)$$

где s_k – название переменной; $T(s_k)$ – терм-множество ЛП s_k; U – область определения каждого элемента множества $T(s_k)$, G – синтаксическое правило (грамматика), порождающее нечеткие переменные $s_k^j \in T(s_k)$; M – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной $s_k^j \in T(s_k)$ нечеткое множество $\tilde{C}(s_k^j)$ – смысл нечеткой переменной s_k^j.

Нечеткие переменные $s_k^j \in T(s_k)$ задаются тройкой множеств:

$$< s_k^j, U, \tilde{C}(s_k^j) >,\ j = \overline{1,m_k}, \quad (8)$$

где s_k^j – наименование нечеткой переменной; U – базовое множество; $\tilde{C}(s_k^j) = \{ < \mu_{\tilde{C}(s_k^j)}(u)/u > \}$, $u \in U$ – нечеткое подмножество множества U; $\mu_{\tilde{C}(s_k^j)}(u)$ – функции принадлежности, задание которых производится экспертами.

Экспертами задаются эталонные (характерные) ситуации $\tilde{S}^{*\nu}$, $\nu = \overline{1,r}$. Каждой ситуации $\tilde{S}^{*\nu}$ сопоставляется правило выбора параметров $\tilde{\theta}_\nu = \tilde{X}_\theta^\nu(\theta, b)$ и стратегия $\tilde{U}_F^\nu$. Таким образом, реализуется нечеткий поисковый алгоритм.

Модель идентификации текущей ситуации можно задать нечетким соответствием

$$(\Gamma \times B, \tilde{\varphi}_S, T(s_1) \times T(s_2) \times T(s_3) \times T(s_4)), \quad (9)$$

где $\tilde{\varphi}_S$ – нечеткий график соответствия, $\Gamma \times B$ – информация о ситуации.

Если оценка текущего значения параметра ситуации s_k представляет собой нечеткое множество $\tilde{s}_k$ с функцией принадлежности $\mu_{\tilde{s}_k}(u)$, то

$$\mu_{\mu_s(s_k)}(s_k^j) = \min_u(\mu_{\tilde{C}(s_k^j)}(u), \mu_{\tilde{s}_k}(u)),\ u \in U. \quad (10)$$

Различные оценки приводят к множеству частичных оценок ситуации $\tilde{S}^{(\nu)}$. Текущая ситуация определяется как объединение частичных оценок $\tilde{S} = \bigcup_\nu \tilde{S}^{(\nu)}$.

Выбор эталонной ситуации $\tilde{S}^{*i}$, которой наибольшим образом соответствует текущая ситуация $\tilde{S}$ осуществляется путем вычисления степени нечеткого равенства ситуаций $\mu(\tilde{S},\tilde{S}^{*i})$, $i=\overline{1,r}$ [9]. Ситуация $\tilde{S}$ нечетко равна ситуации $\tilde{S}^{*i}$, если $\mu(\tilde{S},\tilde{S}^{*i})\geq t$, t – порог равенства ситуаций.

Если текущей ситуации соответствует несколько эталонных ситуаций, то может быть использован метод назначения предпочтений. Каждому возможному решению присваивается коэффициент предпочтения β_i, из подмножества действий выбирается решение, для которого значение β_i наибольшее.

Множество параметров Θ содержит параметры алгоритма получения достоверной информации $\theta^{1)}$ и параметры стратегии $\theta^{2)}$. Параметры $\theta^{2)}$ могут быть определены непосредственно по оценке текущей ситуации $\tilde{S}$. При выборе значений параметров $\theta^{1)}$ возникает неопределенность, связанная с тем, что значения этих параметров определяются ситуацией, которая может возникнуть после применения некоторой стратегии поиска (совершения рабочего шага).

Рассматриваемая структура ситуационной модели позволяет делать прогноз ситуации, при этом схема принятия решения будет иметь вид:

$$\Gamma\times B\xrightarrow{\tilde{\varphi}_S}\tilde{S}\xrightarrow{\mu(\tilde{S},\tilde{S}^{*i})}\tilde{S}^{*i}\rightarrow\tilde{\theta}_i,\tilde{U}_F^{\nu}\rightarrow\theta^{(2)}\rightarrow\tilde{S}_n\xrightarrow{\mu(\tilde{S},\tilde{S}^{*j})}\tilde{S}^{*j}\rightarrow\tilde{\theta}_j\rightarrow\theta^{(1)}. \quad (11)$$

Адаптивные свойства модели определяются возможностью идентификации вектора b модели характеристики.

Построение нечеткой адаптивной САО может осуществляться без модели характеристики. В этом случае адаптацию параметров необходимо осуществлять непосредственно по критериям оценки функционирования системы, что потребует существенных затрат времени на определение значений критериев и времени на обучение модели, которое может быть большим чем при использовании дополнительной информации о связи между B и Θ.

Параметры B могут определяться для каждого режима работы ОУ и являться частью режимной карты ОУ.

Рассмотрим характерные ситуации поиска.

Пусть $\varepsilon=x-x^*$ – отклонение от экстремального значения параметра x^*, Δx^* – величина горизонтального смещения характеристики, Δy^* – величина вертикального смещения характеристики.

Область значений ε разбивается на следующие подобласти: $\varepsilon<\varepsilon_{21}$, $\varepsilon>\varepsilon_{22}$ – область больших отклонений; $\varepsilon_{21}\leq\varepsilon\leq\varepsilon_{11}$, $\varepsilon_{12}\leq\varepsilon\leq\varepsilon_{22}$ – область малых отклонений; $\varepsilon_{11}\leq\varepsilon\leq\varepsilon_{12}$ – область несущественных отклонений (область экстремума); $\varepsilon_{21}<\varepsilon_{11}<\varepsilon_{12}<\varepsilon_{22}$. Если отклонение не определено точно, то определяются области $\varepsilon<0$, $\varepsilon>0$.

В табл. 1 приведен пример задания эталонных ситуаций.

Таблица 1

Ситуация	Параметры	Расстояние до экстремума	Дрейф характеристики	R	T	β	$\tilde{\theta}_\nu,\tilde{U}_F^{\nu}$
$\tilde{S}^{*1}$	$S_1^1, S_2^1, S_3^2, S_4^1$	$\varepsilon<\varepsilon_{21}$	$\Delta x^*>0$	R_1	T_1	β_1	$\tilde{\theta}_1,\tilde{U}_F^1$
$\tilde{S}^{*2}$	$S_1^1, S_2^2, S_3^3, S_4^1$		$\Delta x^*=0$	R_2	T_2	β_2	$\tilde{\theta}_2,\tilde{U}_F^2$
$\tilde{S}^{*3}$	$S_1^1, S_2^1, S_3^3, S_4^1$		$\Delta x^*=0$, $\Delta y^*\neq0$	…	…	…	…

Окончание табл. 1

Ситуация	Параметры	Расстояние до экстремума	Дрейф характеристики	R	T	β	$\tilde{\theta}_\nu, \tilde{U}_F^\nu$
$\tilde{S}^{*4}$	$s_1^1, s_2^1, s_3^1, s_4^1$		$\Delta x^*<0$	…	…	…	..
…	…	…	…	…	…	…	…
$\tilde{S}^{*37}$	$s_1^5, s_2^1, s_3^1, s_4^2$	$\varepsilon>\varepsilon_{22}$	$\Delta x^*<0$	…	…	…	…
$\tilde{S}^{*38}$	$s_1^5, s_2^2, s_3^3, s_4^2$		$\Delta x^*=0$	…	…	…	…
$\tilde{S}^{*39}$	$s_1^5, s_2^1, s_3^3, s_4^2$		$\Delta x^*=0$, $\Delta y^*\neq 0$	R_{39}	T_{39}	β_{39}	$\tilde{\theta}_{39}, \tilde{U}_F^{39}$
$\tilde{S}^{*40}$	$s_1^5, s_2^1, s_3^2, s_4^2$		$\Delta x^*>0$	R_{40}	T_{40}	β_{40}	$\tilde{\theta}_{40}, \tilde{U}_F^{40}$

Число эталонных ситуаций может быть сокращено путем исключения несущественных параметров и объединения ситуаций.

Модель принятия решений строится следующим образом.

Определяется множество эталонных ситуаций согласно таблице (см. табл. 1). Для каждой ситуации определяется риск принятия неверного решения R и необходимое быстродействие T. Выбираются решения $\tilde{\theta}_\nu$, $\tilde{U}_F^\nu$. Выбор управляющих решений производится в соответствии с результатами теоретических и экспериментальных исследований алгоритмов поиска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Молчанов А.Ю., Финаев В.И.* Модели систем автоматической оптимизации с нечеткими параметрами. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 218 с.
2. *Казакевич В.В., Родов А.Б.* Системы автоматической оптимизации. – М.: Энергия, 1977. – 288 с.
3. *Растригин Л.А.* Системы экстремального управления. – М.: Наука, 1974.
4. *Гайдук А.Р.* Непрерывные и дискретные динамические системы. – 2-е изд. перераб. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2004. – 252 с.
5. *Айбазова А.А., Заргарян Е.В., Молчанов А.Ю., Набиев Р.Н., Скубилин И.М.* Модели систем автоматической оптимизации с неопределенными параметрами. – Баку: Изд-во Мутарджим, 2010. – 159 с.
6. *Финаев В.И.* Модели принятия решений: Уч. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 118 с.
7. *Финаев В.И., Павленко Е.Н.* Методы искусственного интеллекта в задачах организации водно-химического режима тепловых электростанций. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 148 с.
8. *Дюбуа Д., Прад. А.* Теория возможностей / Пер. с французского В.Б. Тарасова. Под редакцией С.А. Орловского. – М.: Радио и Связь, 1990. – 288 с.
9. *Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

Айбазова Аминат Абдуллаховна

Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия.

E-mail: aibazova_amina@mail.ru.

357100, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36.

Тел.: 8782202387.

Кафедра систем автоматического управления; соискатель.

Ayibazova Aminat Abdullakhovna
Karachai-Cherkess State Thechnological Academy.
E-mail: aibazova_amina@mail.ru.
36, Stavropolskaya Street, Cherkessk, 357100.
Phpne: +7782202387.
The Department of Automatic Control Systems; Competitor.

УДК 681.5

А.Б. Чернышев, Ю.В. Ильюшин

УСТОЙЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С ДИСКРЕТНЫМИ УПРАВЛЯЮЩИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Рассмотрен процесс управления температурным полем объекта с распределенными параметрами. Управление осуществляется посредством дискретных точечных воздействий. Предложена математическая модель объекта. Исследован процесс формирования температурного поля. Установлена зависимость устойчивости системы от величины шага дискретизации управляющих воздействий.

Температурное поле; управляющие воздействия; пространственный годограф; абсолютная устойчивость; шаг дискретизации.

A.B. Chernyshev, Y.V. Ilyushin

STABILITY OF DISTRIBUTED SYSTEMS WITH DISCRETE CONTROLLING ACTIONS

Describes how to control temperature field object with distributed parameters. The Office is carried out by means of discrete point influences. Mathematical model of the object. Probed the temperature field. Dependence of pitch stability control sample.

Thermal field; controlling actions; spatial hodograph; absolute stability; discretization step.

В системах с распределенными параметрами управляемые величины зависят не только от времени, но и от расположения в пространственной области, занимаемой объектом. Задача реализации систем управления такими объектами значительно усложняется по сравнению с системами с сосредоточенными параметрами. Основные задачи исследования нелинейных автоматических систем сводятся к отысканию возможных состояний равновесия системы и исследованию их устойчивости.

Рассмотрим однородный цилиндрический стержень. Будем полагать, что управляющим воздействием является тепловой поток создаваемый источниками, реализованными в виде секций секционного нагревателя, распределенными по границе боковой поверхности цилиндра. Включение источников осуществляется с помощью релейных элементов. Пусть на концах стержня поддерживается нулевая температура. Управляемой величиной будет температура, которая в общем случае, должна изменяться по заданной программе в соответствии с требованиями технологического процесса. Поставим задачу стабилизации температуры на уровне некоторого значения $T_{зад}$. Пусть R – радиус цилиндра, а l – длина. Математическая модель процесса распространения тепла имеет вид:

$$\frac{\ddot{a}T}{\ddot{a}t} = a^2\left(\frac{\ddot{a}^2T}{\ddot{a}r^2} + \frac{1}{r}\frac{\ddot{a}T}{\ddot{a}r} + \frac{\ddot{a}^2T}{\ddot{a}x^2}\right);\ 0 < r < R,$$